

# Effect of air jet cooling on surface roughness and tool wear

Paryanto\*, Rusnaldy, Tony Suryo Utomo and Yusuf Umardani

Department of Mechanical Engineering, Graduate Program, Diponegoro University  
Kampus Undip Tembalang, Semarang 50275, Indonesia  
Phone: +62-24-7460059 ext. 118, Fax: +62-24-7460059, \*E-mail: paryanto.undip@gmail.com

## ABSTRACT

The use of cutting fluid is to reduce the friction, transport of chips, cleaning of tools and thus the generation of heat and dissipate the generated heat. Application of cutting fluid also improves the quality of the workpiece by continually removing metal fines and cuttings from the tool and cutting zone. To date, large amounts of inefficient cutting fluid which cause both environmental damage and health hazards have had to be used. Due to this problem, some alternative has been sought to minimize or avoid the use of cutting fluid in machining operations. Some of these alternatives are machining with Minimum Quantity Lubrication (MQL), air jet cooling and dry machining. After MQL method has been carried out by many of researcher, air jet cooling is being trialled as possible solution to metal cutting operations. From economics of view, used air jet cooling is more efficient than MQL.

The main goal of this work is to investigate the use of air jet cooling on surface roughness and tool wear on machining operation. Effect and mechanism in air jet cooling are investigated by used of a turning process. AISI 1010 was used as the workpiece material. Surface roughness was measured for twelve different air jet pressure, changing from 0.5 bar until 6 bar at two different air jet positions. Initial results the use of air jet cooling with proper selection of position and pressure, it is possible to reduced tool wear and increased surface roughness.

Keywords: air jet cooling, cutting fluid, surface roughness, tool wear.

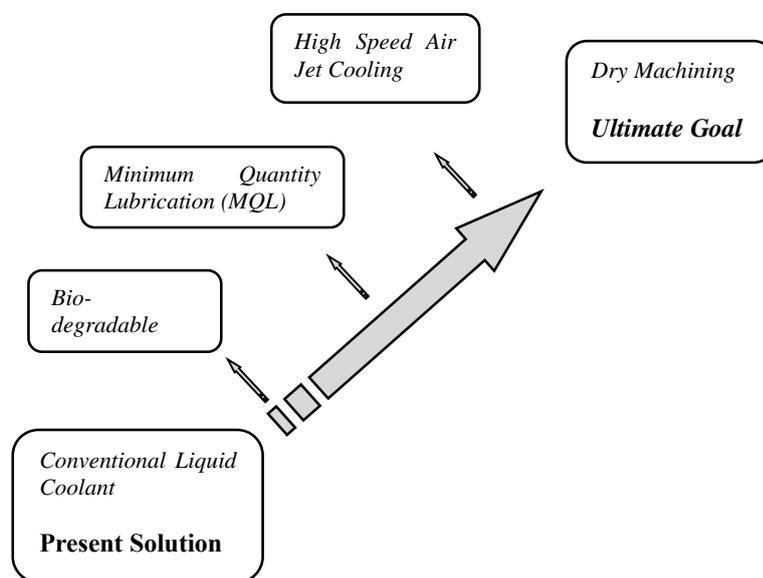
## 1. Pendahuluan

Pada proses pemesinan, terjadinya keausan pahat merupakan sesuatu yang harus diminimalisir karena akan menyebabkan terjadinya cacat pada hasil produk. Faktor terbesar penyebab terjadinya keausan pahat adalah karena adanya panas yang dihasilkan selama proses pemesinan (Bareggi, dkk., 2007). Sedangkan untuk meningkatkan produktifitas pemesinan dibutuhkan putaran spindel dan kecepatan potong yang tinggi, hal ini jelas menghasilkan temperatur yang tinggi pada daerah pemotongan (Dhar, dkk., 2007). Oleh karena itu diperlukan suatu *cutting fluid* (media pendingin) untuk mengurangi keausan pahat sehingga dapat meningkatkan kualitas hasil proses pemesinan.

Media pendingin yang digunakan sebagai pendinginan, pelumasan dan pembuangan *chips* akan menentukan performansi proses pemesinan (Çakır, dkk., 2007; Iowa waste reduction center, 2003). Penggunaan media pendingin yang saat ini banyak dipakai masih mengandung zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan operator dan tidak ramah lingkungan (Kauppinen, 2002; Jayal, dkk., 2007; Bareggi, dkk., 2006). Sehingga diperlukan alternatif media pendingin yang aman bagi kesehatan operator dan ramah lingkungan, tetapi efektif dalam penggunaannya. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah dengan menggunakan pendingin udara bertekanan tinggi (Boswell, B., & Chandratilleke., T.T., 2009; Monno,

dkk., 2006; Dahlman, P., 2001). Selain hal tersebut, dengan penggunaan udara sebagai media pendingin akan dapat mengurangi biaya operasional pada proses pemesinan (Feng, C.S. & Hattori, M., 2001).

Penelitian tentang penggunaan media pendingin pada proses pemesinan pertama kali dilakukan oleh W.H. Northcott pada tahun 1868 yang tertulis dalam bukunya yang berjudul “*A treatise on lathes and turning*”. Pada pertengahan tahun 1890an, F.W. Taylor juga melakukan penelitian tentang penggunaan air sebagai media pendingin, dari penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa pada pemesinan dengan kecepatan *spindle* yang tinggi penggunaan media pendingin dapat memperpanjang umur pahat dan meningkatkan *material removal rates* (MRR). Meskipun demikian, pada perkembangan selanjutnya penggunaan media pendingin dalam proses pemesinan berusaha untuk diminimalisir, hal ini berkaitan dengan aspek ekonomi, lingkungan, dan kesehatan manusia (Sales, dkk., 2001). Perkembangan penggunaan media pendingin pada proses pemesinan dapat dilihat pada Gambar 1.1.



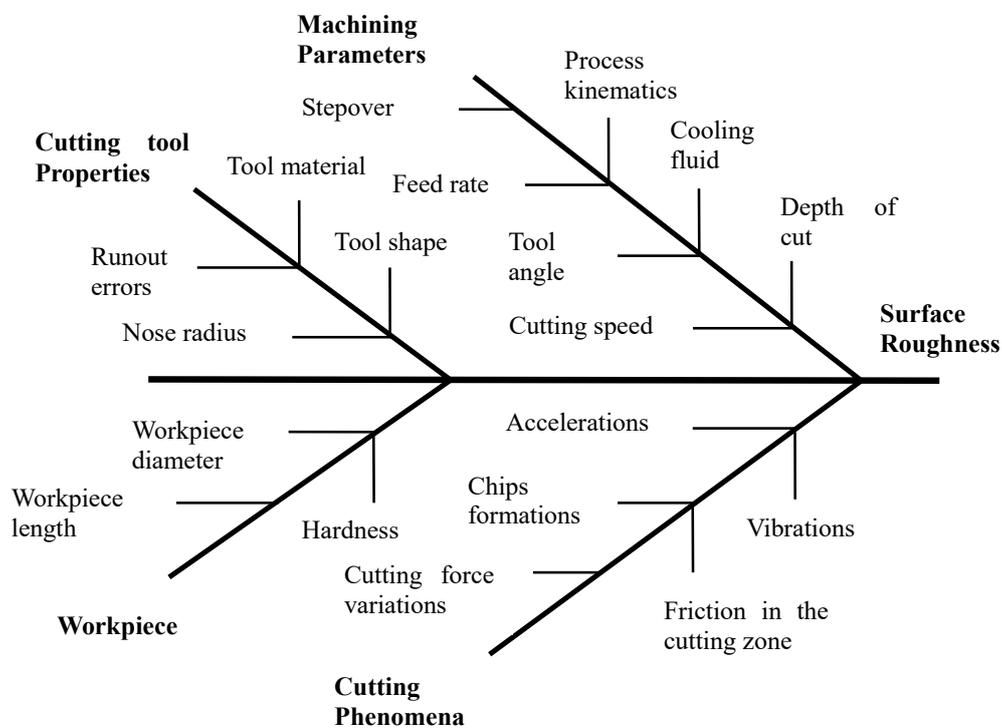
**Gambar 1** Perkembangan penggunaan media pendinginan dalam proses pemesinan (Tanschoff, dkk., 1994).

Mulai tahun 1990an, proses pemesinan dengan menggunakan metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) untuk berbagai jenis material telah mulai diteliti. Secara umum dari penelitian tentang MQL dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan MQL memberikan hasil yang lebih baik dibanding dengan pemesinan kering (*dry machining*), apabila ditinjau dari laju keausan pahat dan kekasaran permukaan hasil pemesinan (Kelly, J.F. & Cotterell, M.G., 2002; Weinert, dkk., 2004).

Meskipun metode MQL memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan menggunakan *cutting fluid* biasa, tetapi seiring dengan perkembangan industri, metode ini dianggap kurang efisien karena masih memerlukan *fluid coolant* sebagai campuran media pendingin sehingga tetap kurang ramah terhadap lingkungan dan meningkatkan biaya proses pemesinan. Perkembangan terbaru tentang teknik pendinginan pada proses pemesinan adalah menggunakan *air jet cooling*, karena pada metode ini tidak diperlukan *fluid coolant* sehingga lebih ekonomis dan ramah lingkungan (Bareggi, dkk., 2006; Boswell, B., & Chandratilleke, T.T., 2009).

Pada tahun 2006, Y. Su, dkk., melakukan penelitian tentang proses bubut dengan material Inconel 718 dengan menggunakan media pendingin udara yang didinginkan. Dalam penelitiannya proses pendinginan dilakukan dengan menyemprotkan udara dingin ( $-20^{\circ}\text{C}$  sampai  $20^{\circ}\text{C}$ ) pada benda kerja dan pahat. Berdasarkan hasil penelitian ini, dibandingkan dengan *dry machining* proses pendinginan metode ini mampu meningkatkan umur pahat 78% dan meningkatkan kualitas permukaan benda kerja sebesar 124%. Tetapi pada proses ini memiliki kekurangan, yaitu diperlukannya suatu mekanisme tambahan yang digunakan untuk mendinginkan udara, sehingga tidak begitu efisien.

Perbandingan hasil pemesinan kering dengan *air jet cooling* pada material baja AISI 1020 telah diteliti oleh A. Bareggia, dkk., (2007) dengan menggunakan pemodelan *Finite Element Method* (FEM). Pada penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa dengan menggunakan tekanan dan posisi penyemprotan udara yang tepat dapat menurunkan temperatur pahat, sehingga dapat mengurangi keausan yang terjadi pada pahat.



**Gambar 2** Diagram *fishbone* faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan (Benardos, P.G. & Vosniakos, G.C., 2003; dan Salgado, dkk., 2008).

Pada tahun 2009, Brian Boswell dan Tilak T. Chandratilleke, meneliti proses pemesinan dengan pendinginan menggunakan udara-dingin, dari hasil penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa udara-dingin dapat meminimalisir keausan pahat. Penelitian tentang efektifitas dari penggunaan media udara sebagai pendingin pada proses pemesinan sampai saat ini masih terus dilakukan. Sedangkan menurut Benardos, P.G. & Vosniakos, G.C. (2003) dan Salgado, dkk (2008), secara umum kekasaran permukaan suatu benda kerja hasil proses pemesinan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti parameter

proses pemesinan, kondisi pahat, benda kerja dan fenomena pemotongan (Gambar 2). Berdasarkan kondisi tersebut, maka masih diperlukan suatu penelitian yang dapat mengukur efek dari penggunaan *air jet cooling* terhadap temperatur pemotongan dan kekasaran permukaan hasil proses pemesinan.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur laju keausan pahat dan kekasaran permukaan hasil proses pemesinan menggunakan pendinginan *air jet cooling*. Dari data tersebut akan diperoleh besarnya tekanan dan posisi penyemprotan yang optimum sehingga diperoleh laju keausan pahat dan kekasaran permukaan yang minimum.

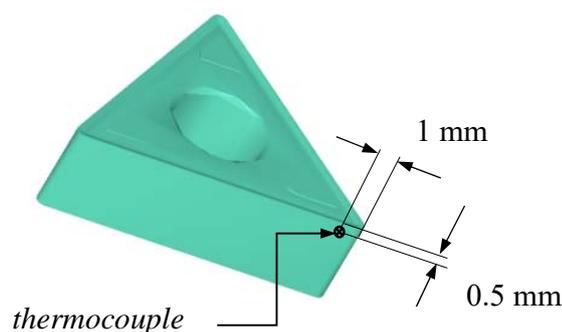
## 2. Metodologi Penelitian

### 2.1 Material Penelitian

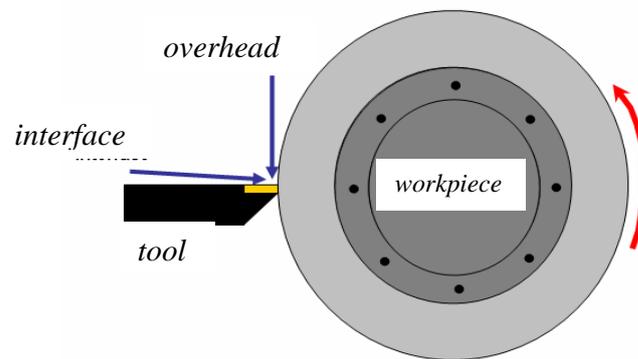
Benda kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah AISI 1010 dengan dimensi  $\text{Ø}34 \times 60$  mm. Komposisi unsur kimia spesimen uji adalah sebagai berikut: %C = 0,10; %Si = 0,21; %Mn = 0,66; %Ni = 0,11; %Fe = 98,12; dengan nilai kekerasan 55,7 HRA. Pemilihan material AISI 1010 didasarkan karena bahan tersebut sering dipakai oleh bengkel-bengkel permesinan di Indonesia sebagai bahan baku pembuatan komponen mesin. Sebelum diuji benda kerja telah di *facing* dengan kedalaman 2 mm dengan tujuan untuk membuang permukaan benda kerja yang mengalami pengerasan akibat pengerolan selama proses manufaktur. Jenis pahat yang digunakan adalah TNMG 160404 FG CT 3000 dengan *tool holder* tipe PTNFR1616.

### 2.1 Peralatan Penelitian

Mesin bubut yang digunakan adalah EMCO Maier Maximat V13. Media pendingin yang digunakan adalah udara bertekanan yang dihasilkan oleh kompresor dengan kemampuan menghasilkan udara diatas 6 bar pada kondisi semua katup terbuka. Untuk mengetahui kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan dari proses permesinan digunakan Mitutoyo SurfTest SJ-201P *roughness tester*. Termometer KW06-283 digunakan untuk mengukur temperatur pahat pada waktu proses pemesinan. Pada termometer jenis ini dilengkapi dengan *thermocouple* yang digunakan sebagai sensor yang ditempelkan dibenda yang akan diukur. Gambar 3 memperlihatkan posisi pemasangan *thermocouple* pada pahat. Pengukuran temperatur dimaksudkan untuk mengetahui hubungan antara temperatur pemotongan dengan laju keausan pahat.



**Gambar 3** Posisi pemasangan *thermocouple*.



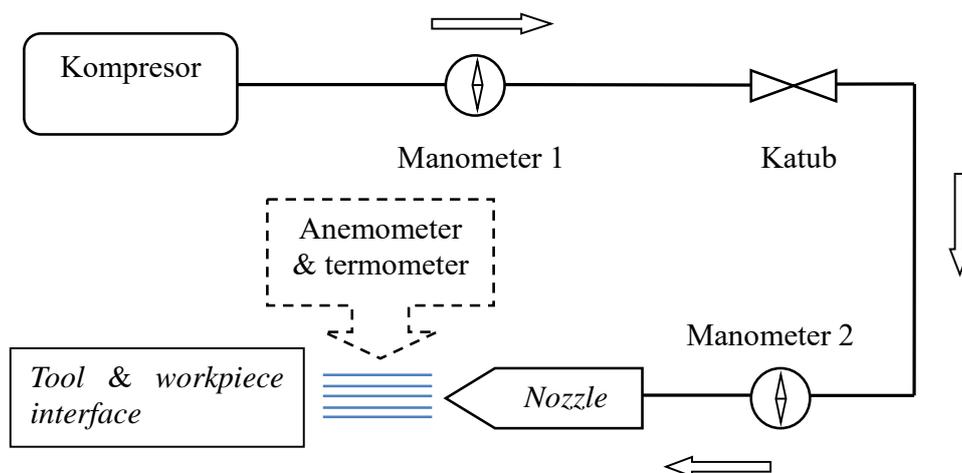
**Gambar 4** Posisi penyemprotan udara pendingin (Bareggi, 2007).

### 2.3 Sistem Pengujian

Pengujian dilakukan dengan bervariasi tekanan penyemprotan dari 0,5 – 6 bar, masing-masing untuk posisi *interface* dan *overhead* (Gambar 4). Sedangkan sistem pengujian terlihat seperti Gambar 5. Pengujian dilakukan untuk proses *finishing*, dengan kecepatan potong 140 m/min, kedalaman potong 0,5 mm dengan *feed* 0,112 mm/rev. Parameter pengujian secara keseluruhan diperlihatkan seperti terlihat pada Tabel 1.

**Tabel 1** Parameter proses pengujian.

Parameter pengujian	Nilai
Jenis media pendingin	<i>dry, wet</i> (32,7 l/h), <i>air jet cooling</i> (0,5 – 6 bar)
Kecepatan potong ( $v_c$ )	140 m/min
<i>Feed</i> ( $f$ )	0,112 mm/rev
Kedalaman potong ( $a$ )	0,5 mm
Diameter nozzle ( $d$ )	2 mm
Jarak ujung nozel dengan geram	2 cm



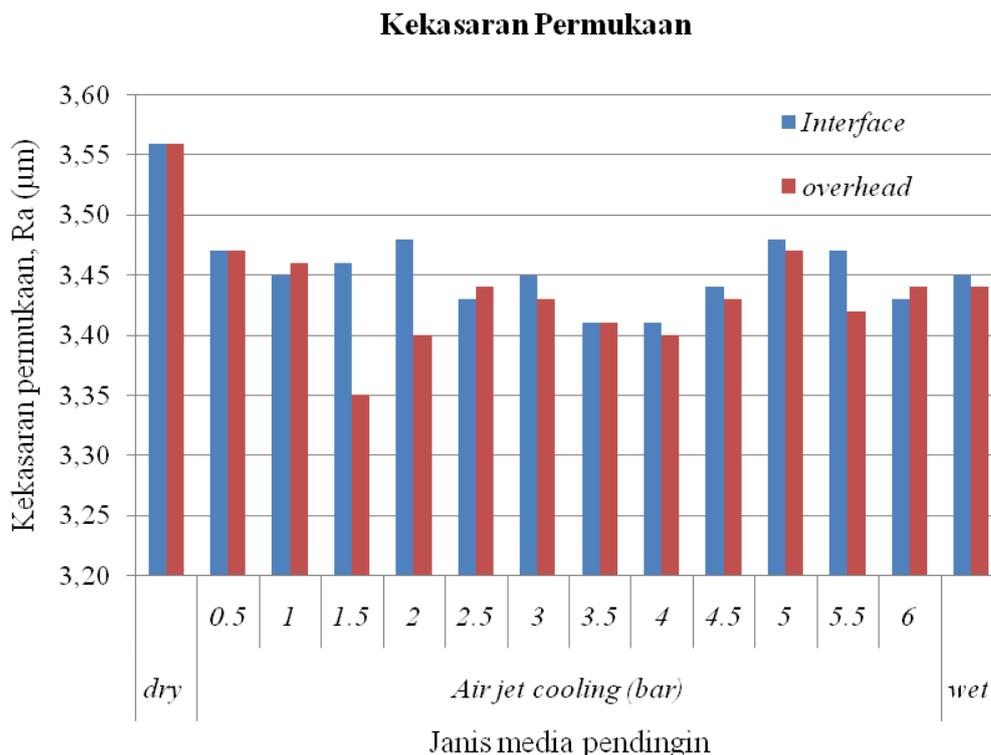
**Gambar 5** Skema sistem pengujian.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pemesinan ramah lingkungan merupakan tujuan dari proses manufaktur dimasa yang akan datang. Salah satu cara yang dilakukan untuk penerapan teknologi ramah lingkungan adalah penggunaan *air jet cooling*. Pengurangan biaya produksi dan adanya peraturan dari pemerintah merupakan dua hal yang melatarbelakangi penggunaan teknologi *air jet cooling*.

#### 3.1 Kekasaran Permukaan Hasil Pemesinan

Setelah dilakukan proses pemesinan, benda kerja hasil pengujian dilakukan pengukuran kekasaran permukaan. Berdasarkan hasil pengukuran kekasaran, diperoleh dapat data seperti terlihat pada Gambar 6. Secara umum penggunaan *air jet cooling* mampu menurunkan nilai kekasaran permukaan hasil proses pembubutan. Hal ini terlihat dari perbandingan antara kekasaran permukaan hasil pemesinan kering (*dry*) dengan kekasaran permukaan hasil pemesinan menggunakan *air jet cooling*. Peningkatan kualitas permukaan ini disebabkan karena dengan pendinginan *air jet cooling* pahat mengalami proses pendinginan sehingga mengurangi kemungkinan adanya geram yang terdifusi dengan pahat, yang dapat mengubah geometri pahat sehingga menurunkan kualitas hasil proses pembubutan. Selain hal tersebut, dengan adanya pendinginan *air jet cooling* juga dapat membuang geram yang terbentuk sehingga tidak merusak permukaan benda hasil proses pembubutan.



**Gambar 6** Kekasaran permukaan hasil proses pemesinan.

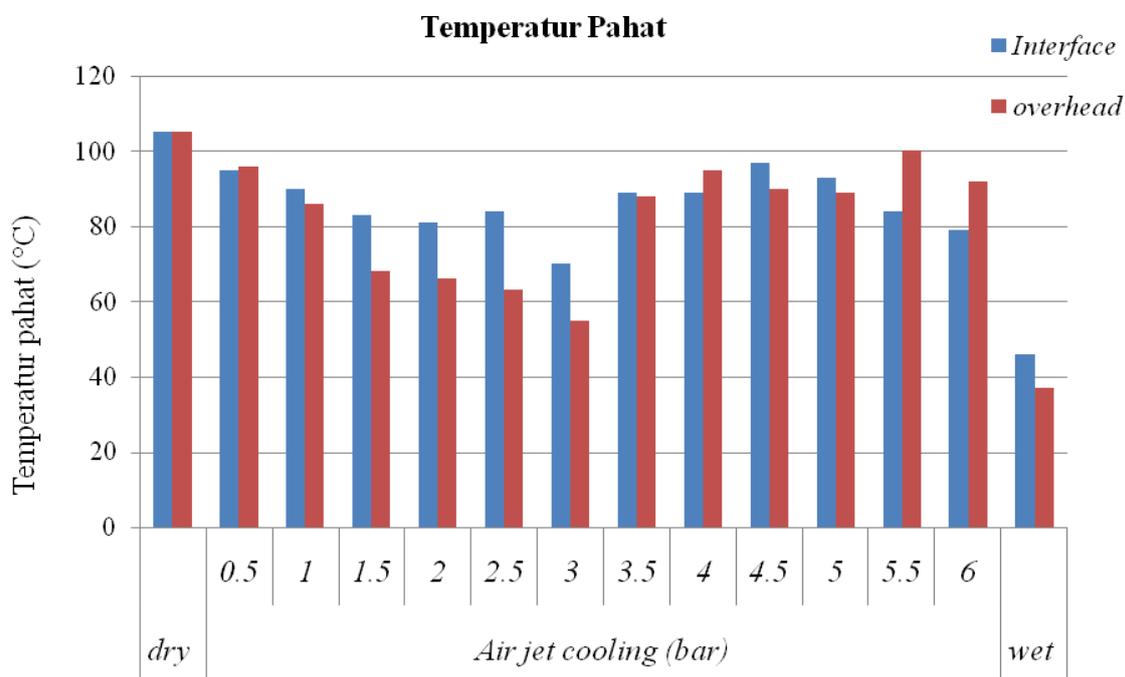
Hasil pemesinan dengan *air jet cooling* juga mampu menyamai dengan hasil pemesinan basah (*wet*), bahkan pada tekanan penyemprotan 3,5 bar dan 4 bar diperoleh kekasaran permukaan yang lebih

baik dibandingkan dengan pemesinan basah. Sehingga apabila mengacu pada proses pemesinan yang ramah lingkungan (*green machining/eco-machining*) dan efisiensi proses pemesinan, penggunaan *air jet cooling* lebih menguntungkan jika dibandingkan dengan pemesinan basah.

### 3.2 Laju Keausan Pahat

Sebagian besar energi yang digunakan untuk proses pemotongan logam diubah menjadi panas, kemudian panas ini akan diteruskan ke geram, pahat, dan benda kerja. Dari proses perpindahan panas tersebut maka akan menyebabkan terbentuknya tiga daerah panas, yaitu: daerah panas pada bidang geser, daerah panas pada kontak antara geram dan permukaan pahat, dan daerah panas pada kontak antara permukaan pahat dan benda kerja. Distribusi temperatur pemotongan pada proses pemesinan perlu untuk diketahui, hal ini karena dengan mengetahui distribusi temperatur pemotongan akan dapat diketahui laju keausan pahat. Dari hasil pengukuran temperatur pahat diperoleh grafik seperti pada Gambar 7.

Dari Gambar 7 diketahui bahwa tekanan penyemprotan semakin dinaikkan maka pendinginan terhadap pahat akan semakin efektif, tetapi apabila tekanan dinaikkan melebihi 3 bar maka pendinginan pahat menjadi tidak begitu efektif. Hal ini karena pada tekanan rendah, laju dari aliran udara pendingin belum menghasilkan pendinginan yang cukup untuk membuang panas yang dihasilkan selama proses pemotongan. Khusus untuk posisi *interface* tekanan tersebut belum cukup untuk masuk ke celah antara pahat dan benda kerja. Jika tekanan penyemprotan melebihi 3 bar, maka efektivitas pendinginan akan semakin berkurang, hal ini karena pada tekanan diatas 3 bar udara pendingin mengalami kompresi yang menyebabkan naiknya temperatur udara pendingin dan tumbukan antara udara yang disemprotkan dengan benda kerja/pahat menyebabkan panas, sehingga pendinginan tidak begitu efektif.

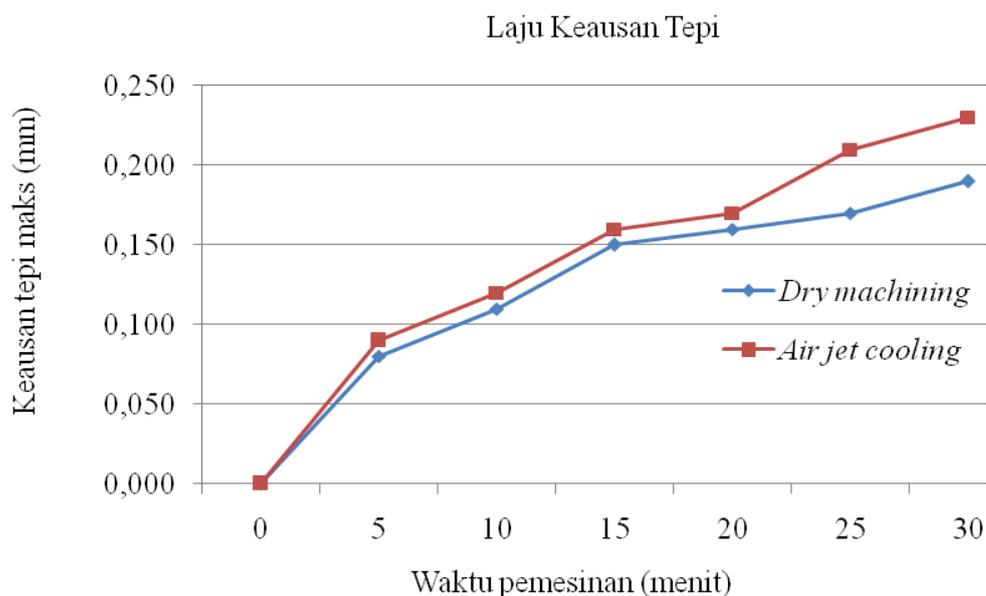


Janis media pendingin

**Gambar 7** Temperatur pahat.

Pendinginan menggunakan *air jet cooling* paling efektif mendinginkan pahat adalah pada tekanan penyemprotan 3 bar, hal tersebut terjadi baik pada posisi *interface* maupun pada posisi *overhead*. Secara umum, jika ditinjau dari kemampuan pendinginan terhadap pahat maka pendinginan dari arah *overhead* lebih baik jika dibandingkan dengan pendinginan dari arah *interface*.

Dari pengujian keausan pahat yang telah dilakukan diperoleh grafik keausan tepi maksimum pahat seperti terlihat pada Gambar 8. Pada pengujian tersebut pendinginan *air jet cooling* dilakukan pada tekanan penyemprotan 3 bar dengan posisi dari arah *overhead*. Dari grafik terlihat bahwa penggunaan *air jet cooling* secara umum mampu mengurangi laju keausan pahat jika dibandingkan dengan proses pemesinan kering. Hal ini karena dengan menggunakan *air jet cooling* pahat mengalami proses pendinginan sehingga temperatur pahat tidak terlalu tinggi. Temperatur pahat yang tinggi akan menurunkan kekuatan material pahat dan memfasilitasi terjadinya fenomena abrasi dan difusi. Akibat kekuatan material yang menurun, adanya abrasi dan adanya fenomena difusi akan menyebabkan pahat menjadi mudah aus.



**Gambar 8** Laju keausan tepi pahat.

#### 4. Kesimpulan

- 1) Jika ditinjau dari nilai kekasaran permukaan, pemesinan dengan *air jet cooling* akan lebih baik jika dibandingkan dengan pemesinan kering.
- 2) Dengan menggunakan *air jet cooling* akan dapat mengurangi temperatur pemotongan sehingga mampu untuk mengurangi laju keausan pahat.
- 3) Pada tekanan penyemprotan 3 bar dengan posisi penyemprotan *overhead* diperoleh nilai optimum dengan efek pendinginan yang paling efektif.

- 4) Secara umum, apabila mengacu pada proses pemesinan yang ramah lingkungan (*green machining/eco-machining*) dan efisiensi proses pemesinan maka penggunaan *air jet cooling* lebih menguntungkan jika dibandingkan dengan pemesinan basah.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Metrologi Industri, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro yang telah mendanai dan memfasilitasi penelitian ini.

### Referensi

- Bareggi, A., Torrance, A., O' Donnell, G., (2006), "Green cutting using supersonic air jets as coolant and lubricant during turning", *Advanced in Manufacturing Technology*, 261 – 266.
- Bareggi, A., Torrance, A., O' Donnell, G. (2007), "Modelling thermal effects in machining by finite element method", *Proceedings of the 24<sup>th</sup> International Manufacturing Conference*, Waterford, 263 – 272.
- Benardos, P.G., Vosniakos, G.C., (2003), "Predicting surface roughness in machining: a review", *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 43, 833 – 844.
- Boswell, B., Chandratilleke, T.T., (2009), "Air-cooling used for metal cutting", *American Journal of Applied Sciences* 6 (2), 251 – 262.
- Çakır, O., Yardımcı, A., Özben, T., Kilickap, E., (2007), "Selection of cutting fluids in machining processes", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 25, 99 – 102.
- Dahlman, P., (2001)., "A comparison of temperature reduction in high-pressure jet-assisted turning using high pressure versus high flowrate", Master's thesis, Production Engineering, Chalmers University of Technology, Sweden.
- Dhar, N.R., Islam, S., Kamruzzaman, M., (2007), "Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear, surface roughness and dimensional deviation in turning AISI-4340 steel", *G.U. Journal of Science* 20 (2), 23 – 32.
- Feng, S.C., Hattori, M., (2001), "Cost and process information modeling for dry machining", Manufacturing Engineering Laboratory, NIST DoC.
- Iowa Waste Reduction Center, (2003), *Fluid cutting management for small machining operations, a practical pollution prevention guide 3<sup>rd</sup> edition*, University of Northern Iowa.
- Jayal, A.D., Balaji, A.K., Sese, R., Gaul, A., Liliquist, D.R., (2007), "Machining performance and health effect of cutting fluid application in drilling of A390.0 cast aluminium alloy", *Journal of Manufacturing Processes*, 9 (2), 137 – 146.
- Kauppinen, V., (2002), "Environmentally reducing of coolants in metal cutting", *Proceedings University's Days 8<sup>th</sup> International Conference*, Helsinki University of Technology.
- Kelly, J.F., Cotterell, M.G., (2002), "Minimal lubrication machining of aluminium alloys", *Journal of Materials Processing Technology* 120, 327 – 334.
- Monno, M., Pittala, G.M., Bareggi, A., (2006), "Finite element modeling of titanium assisted by high speed air jet", Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Meccanica.

- Sales, W.F., Diniz, A.E., Machado, A.R., (2001), "Application of cutting fluids in machining processes", *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, 23 (2).
- Salgado, D.R., Alonso, F.J., Cambero, I., Marcelo, A., (2009), "In-process surface roughness prediction system using cutting vibrations in turning", *International Journal of Advance Manufacturing Technology* 43, 40 – 51.
- Su, Y., He, H., Li, L., Iqbal, A., Xiao, M.H., Xu, S., Qiu, B.G., (2007), "Refrigerated cooling air cutting of difficult-to-cut materials", *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 47, 927 – 933.
- Tonschoff, H.K., Kroos, F., Sprinting, W., Brandt, D., (1994), "Reducing use of coolant in cutting cutting processes", *Production Engineering* 1 (2), 5 – 8.
- Weinert, K., Inasaki, I., Sutherland, J.W., Wakabayashi, T., (2004), "*Dry machining and minimum quantity lubrication*". Dept. of Machining Technology, University of Dortmund, Germany.